

⑤ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3905949 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 39 05 949.9
㉑ Anmeldetag: 25. 2. 89
㉒ Offenlegungstag: 30. 8. 90

⑤ Int. Cl. 5:
G01M 11/08
G 01 B 11/24
B 23 C 9/00
B 23 Q 17/24

DE 3905949 A1

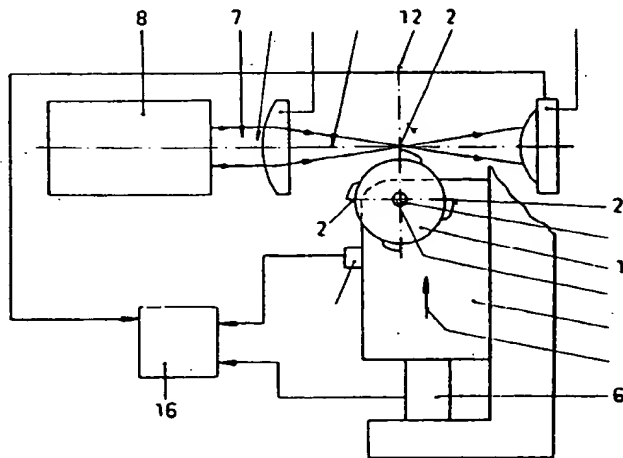
㉓ Anmelder:
Schulz, Herbert, Prof. Dr.-Ing., 6110 Dieburg, DE;
Mootz, Andreas, Dipl.-Ing., 6100 Darmstadt, DE
㉔ Vertreter:
Katscher, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 6100 Darmstadt

㉕ Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zum Vermessen von Schneidkanten

Die Schneidkanten (2) am Umfang eines sich drehenden Fräswerkzeugs (1) werden berührungslos vermessen. Jeweils in einer Meßebe (12) unterbrechen die Schneidkanten (2) den Strahlengang einer optischen Abtasteinrichtung (7). Das Fräswerkzeug (1) und die optische Abtasteinrichtung (7) werden relativ zueinander verfahren. Die Positionen dieser Vorschubbewegung werden durch ein Wegmeßsystem (6) erfaßt. Der von der Lichtquelle (8) der optischen Abtasteinrichtung (7) erzeugte kohärente Lichtstrahl wird in der Meßebe (12) fokussiert. Die Positionen des Wegmeßsystems (6) bei Unterbrechungen des Strahlengangs durch die Schneidkanten (2) werden in einer Auswerteeinrichtung (16) erfaßt.



DE 3905949 A1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum berührungslosen Vermessen von Schneidkanten am Umfang eines sich drehenden Fräswerkzeugs, wobei die Schneidkanten jeweils in der die Fräswerkzeugachse enthaltenden Meßebene durch den Strahlengang einer aus einer Lichtquelle und einem Fotodetektor bestehenden optischen Abtasteinrichtung erfaßt werden, deren optische Achse lotrecht zur Meßebene und tangential zum Flugkreis der Schneidkanten verläuft.

Die Vermessung der Schneidkanten von Fräswerkzeugen dient der Ermittlung des Rundlauffehlers und des Flugkreisdurchmessers. Der Rundlauffehler der Schneidkanten an Fräswerkzeugen ist eine wichtige Einflußgröße sowohl für die Fertigungsgenauigkeit als auch für die Wirtschaftlichkeit des Fräsvorgangs. Folgen eines unzulässig hohen Rundlauffehlers sind unter anderem reduzierte Werkzeugstandzeiten infolge von Schwingungen und unterschiedlicher Schneidenbelastung, eine erhöhte Belastung der Maschine, insbesondere deren Hauptspindel, Maßabweichungen und eine verminderte Oberflächengüte des Werkstücks.

Statische Rundlauffehler der Schneidkanten treten bereits beim sich langsam drehenden oder stehenden Fräswerkzeug auf und sind bedingt durch einen Schneidkantenversatz am Werkzeug infolge von Einstellfehlern bei einstellbaren Werkzeugen oder durch Fertigungstoleranzen bei monolithischen Werkzeugen sowie Werkzeugen mit aufgelöteten Schneiden.

Dynamische Rundlauffehler der Schneidkanten treten erst bei höheren Drehzahlen des Fräswerkzeugs auf und sind bedingt durch eine Biegung des Werkzeugs infolge von Unwuchten und den daraus resultierenden, meist drehfrequenzabhängigen Unwuchtkräften. Auch Fliehkräfte im Bereich der Werkzeugeinspannung können beispielsweise durch die Aufweitung von Spannzangen zu drehfrequenzabhängigen Rundlauffehlern führen.

Weitere Ursachen für statische oder dynamische Rundlauffehler können Spannfehler durch Toleranzen der Werkzeugaufnahme und ggf. des Werkzeugspannfutters oder Verunreinigungen in diesen Bereichen sein. Diese Fehlerursache ist von besonderer Bedeutung, da sich die auftretenden Spannfehler nach jedem Werkzeugwechsel ändern können. Dies stellt ein schwerwiegendes Problem bei der Endbearbeitung auf bedienerlos arbeitenden Werkzeugmaschinen dar. Auch Rundlauffehler der Frässpindel können sich als dynamische Rundlauffehler des Fräswerkzeugs äußern.

Die von der Drehfrequenz der Frässpindel abhängigen dynamischen Rundlauffehler sind von besonderer Bedeutung bei schnellaufenden Frässpindeln, insbesondere beim Hochgeschwindigkeitsfräsen, weil die auftretenden Fliehkräfte mit dem Quadrat der Drehfrequenz ansteigen.

Für eine vollständige Erfassung der für das Arbeitsergebnis bedeutsamen Rundlauffehler ist es deshalb erforderlich, die Fräswerkzeuge im eingespannten Zustand und bei der Betriebs-Drehfrequenz zu vermessen.

Bekannte Verfahren zum berührungslosen Vermessen von Schneidkanten am Umfang eines Fräswerkzeugs, die mit einem Laserscanner arbeiten, sind aufgrund ihrer Arbeitsweise nicht für den Einsatz an sich drehenden Fräswerkzeugen geeignet. Bei diesen Verfahren wird die Projektion der Schneidkante vermessen; diese ändert sich jedoch bei der Drehung ständig. Diese Laserscannerverfahren können daher nicht zur

Messung an sich drehenden Fräswerkzeugen, insbesondere nicht bei hohen Drehfrequenzen, eingesetzt werden.

Bei einem bekannten Verfahren der eingangs genannten Gattung (Stöferle und Hartmann, Beitrag zur Lagemessung aller Schneidkanten an Fräswerkzeugen, Z. Werkstatt und Betrieb 109 (1976) 3, S. 183, 188, Bild 12) wird auf einem Fotodetektor, der als Fotodiodenzeile ausgeführt ist, ein Bild der in der Meßebene befindlichen Schneidkante erzeugt. Je nach der Anzahl der dabei belichteten Fotodioden wird der Radius des Flugkreises der Schneidkante ermittelt. Während des Meßvorgangs bleibt der gegenseitige Abstand der Fräserachse zur optischen Achse der optischen Abtasteinrichtung konstant. Für die Meßgenauigkeit ist es von großer Bedeutung, daß sich die Schneidkante im Augenblick des Meßvorgangs möglichst genau in der Meßebene befindet. Diese an sich schon schwierige Anforderung wird mit wesentlich größerer Fräserdrehfrequenz noch erheblich schwieriger und kann bei den bei modernen Hochgeschwindigkeitsfräsvorgängen üblichen Drehfrequenzen nicht mehr eingehalten werden. Der Einsatz des bekannten Verfahrens ist daher für die Vermessung schnellaufender Fräser, insbesondere für das Hochgeschwindigkeitsfräsen, nicht möglich.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren der eingangs genannten Gattung so auszubilden, daß es bei schnellaufenden Fräswerkzeugen, insbesondere bei den beim Hochgeschwindigkeitsfräsen üblichen Betriebsdrehfrequenzen, eingesetzt werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein von der Lichtquelle erzeugter kohärenter Lichtstrahl in der Meßebene fokussiert und die Lichtquelle auf der aktiven Fläche des Fotodetektors abgebildet wird, daß das Fräswerkzeug und die optische Abtasteinrichtung während des Meßvorgangs relativ zueinander in der gemeinsamen Normalrichtung der Fräswerkzeugachse und der optischen Achse verfahren werden, daß diese Relativbewegung durch ein Wegmeßsystem erfaßt wird, und daß in einer Auswerteeinrichtung die Position des Wegmeßsystems bei einer Unterbrechung des Strahlengangs der optischen Abtasteinrichtung erfaßt wird.

Im Gegensatz zu dem bekannten Verfahren erfolgt keine Abbildung der Schneidkante auf der aktiven Fläche des Fotodetektors; vielmehr wird der Lichtstrahl in der Meßebene fokussiert, d.h. die Lichtquelle wird auf der aktiven Fläche des Fotodetektors abgebildet. Wegen der Fokussierung in der Meßebene ist die erfindungsgemäße optische Abtasteinrichtung dazu geeignet, einen optischen Taster von sehr geringen Abmessungen zu bilden. Dieser optische Taster, der durch den fokussierten Lichtstrahl gebildet wird, dient nur dazu festzustellen, ob sich im Meßpunkt eine Schneidkante befindet oder nicht. Sobald eine Schneidkante den in der Meßebene fokussierten Strahlengang unterbricht, wird im wesentlichen die gesamte aktive Fläche des Fotodetektors verdunkelt.

Infolge der erfindungsgemäß vorgesehenen Relativ-Vorschubbewegung zwischen der optischen Abtasteinrichtung und dem zu vermessenden Fräser erfolgt der Meßvorgang durch ein Wegmeßsystem, das die Positionen dieser Vorschubbewegung zu bestimmten Zeitpunkten erfaßt. Die Meßgenauigkeit wird daher nur durch die Genauigkeit dieses Wegmeßsystems bestimmt, die sehr hoch gewählt werden kann, und hängt nicht von der Drehfrequenz des Fräswerkzeugs ab.

Somit können auch die bei den Betriebs-Drehfre-

quenzen beim Hochgeschwindigkeitsfräsen auftreten dynamischen Rundlauffehler erfaßt werden.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß die Drehfrequenz des Fräswerkzeugs durch einen Drehfrequenzgeber erfaßt und ein Drehfrequenzsignal an die Auswerteeinrichtung übermittelt wird, und daß in der Auswerteeinrichtung die Anzahl der Unterbrechungen des Strahlengangs der optischen Abtasteinrichtung pro Umdrehung des Fräswerkzeugs ermittelt wird. Diese gleichzeitige Ermittlung der Drehfrequenz des Fräswerkzeugs und die Verknüpfung mit der Anzahl der Unterbrechungen des Strahlengangs ermöglicht es, nicht nur die radial jeweils am weitesten vorragende Schneidkante, sondern auch die übrigen Schneidkanten zu vermessen.

In Weiterbildung dieses Erfindungsgedankens ist vorgesehen, daß bei Annäherung der optischen Abtasteinrichtung an das Fräswerkzeug die Positionen des Wegmeßsystems beim erstmaligen Auftreten einer Unterbrechung des Strahlengangs und zu dem Zeitpunkt erfaßt werden, wenn die Anzahl der Unterbrechungen pro Umdrehung des Fräswerkzeugs gleich der Schneidzahl des Fräswerkzeugs ist, und daß in der Auswerteeinrichtung der Abstand dieser beiden Positionen als Maß für den Rundlauffehler des Fräswerkzeugs ermittelt wird.

Gemäß einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung des Erfindungsgedankens ist vorgesehen, daß die optische Abtasteinrichtung und das Fräswerkzeug relativ zueinander über dessen Durchmesser verfahren werden, daß dabei die Positionen des Wegmeßsystems beim erstmaligen und beim letztmaligen Auftreten einer Unterbrechung des Strahlengangs erfaßt werden, und daß in der Auswerteeinrichtung der Abstand dieser beiden Positionen als Maß für den Flugkreisdurchmesser des Fräswerkzeugs ermittelt wird.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 in stark vereinfachter Darstellungsweise eine Vorrichtung zum berührungslosen Vermessen von Schneidkanten am Umfang eines sich drehenden Fräswerkzeugs und

Fig. 2 eine vereinfachte Übersicht über die Signalverarbeitung in der Vorrichtung nach Fig. 1.

Ein Fräswerkzeug 1 weist an seinem Umfang mehrere zu vermessende Schneidkanten 2 auf. Das Fräswerkzeug 1 ist an einer Frässpindel 3 aufgenommen, die in einem Maschinenschlitten 4 gelagert ist und mit ihrer Betriebs-Drehfrequenz angetrieben wird. Der Maschinenschlitten 4 ist in einer durch einen Pfeil 5 angedeuteten Vorschubrichtung verfahrbar. Diese Vorschubbewegung wird durch ein Wegmeßsystem 6 erfaßt.

Eine optische Abtasteinrichtung 7, die nach Art einer Lichtschranke aufgebaut ist, besteht aus einer Lichtquelle 8, die kohärentes Licht aussendet. Das von der Lichtquelle 8 emittierte Strahlenbündel 9 fällt parallel zu einer optischen Achse 10 der Abtasteinrichtung 7 in eine Fokussierungsoptik 11 ein und wird von dieser in einer Meßebeine 12 fokussiert und erzeugt eine Abbildung der Lichtquelle 8 auf der aktiven Fläche eines Fotodetektors 13.

Die Vorschubbewegung des Fräswerkzeugs 1 erfolgt in der Meßebeine 12, in der auch die Fräserachse 14 des Fräswerkzeugs 1 liegt. Das Fräswerkzeug 1 wird in der gemeinsamen Normalrichtung der Fräswerkzeugachse 14 und der optischen Achse 10 verfahren.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel

erfolgt die Relativbewegung des Fräswerkzeugs 1 zur optischen Abtasteinrichtung 7 durch die Verschiebung des Werkzeugeschlittens 4, in dem das Fräswerkzeug 1 gelagert ist. Hierfür werden der ohnehin vorhandene Vorschubantrieb des Maschinenschlittens 4 und dessen Wegmeßsystem verwendet.

Stattdessen ist es auch möglich, durch eine gesonderte Vorschubeinrichtung und ein Wegmeßsystem die optische Abtasteinrichtung 7 relativ zu der Fräswerkzeugachse 14 zu verfahren.

Ein mit der Frässpindel 3 in Verbindung stehender Drehfrequenzgeber 15 liefert ein Drehfrequenzsignal an eine Auswerteeinrichtung 16, der auch die Ausgangssignale des Fotodetektors 13 zugeführt werden. Auch die Wegsignale des Wegmeßsystems 16 werden an die Auswerteeinrichtung 16 geliefert.

Einzelheiten der Signalverarbeitung ergeben sich aus Fig. 2.

Die von der in Fig. 2 nur schematisch dargestellten optischen Abtasteinrichtung 7 erzeugten Ausgangssignale des Fotodetektors 13 werden in einem Meßumformer 17 verstärkt und mittels einer Komparatorschaltung in ein Binärsignal 18 umgewandelt. Der Zustand dieses Binärsignals 18 (0 oder 1) gibt an, ob der Lichtstrahl in der optischen Abtasteinrichtung 7 in der Meßebeine 12 von einer Schneidkante 2 unterbrochen wurde oder nicht.

Der Drehfrequenzgeber 19 erzeugt über einen Meßumformer 20 ein Binärsignal 21 mit einer Frequenz, die gleich der Drehfrequenz des zu vermessenden Fräswerkzeugs 1 ist.

Ein Impulszähler 22, dem das Binärsignal 18 zugeführt wird, ist ein Binärzähler mit einer Stellenzahl von 8 Bit. Der Impulszähler 22 arbeitet umlaufend, d.h. nach dem Erreichen des höchsten Zählerstandes von 25 erfolgt mit dem nächsten Impuls des Signals 21 ein Übergang auf den Wert 0.

Ein Halteregeister 23 dient zur Abtastung des Zählerstands des Impulszählers 22 synchron zur Drehfrequenz des Fräswerkzeugs 1. Der Zählerstand des Impulszählers 22 wird hierzu mit der (willkürlich festgelegten) aktiven Flanke des Signals 21 in das Halteregeister 23 übernommen und dort bis zur nächsten aktiven Flanke des Signals 21 gehalten.

Ein Mikrorechner 24, dem die Signale 18 und 21 sowie das Ausgangssignal des Halteregeisters 23 zugeführt werden, stellt ein herkömmliches Mikroprozessorsystem dar, bestehend aus einem Mikroprozessor, einem Nur-Lese-Speicher (ROM) zur Programmspeicherung, einem als Arbeitsspeicher dienenden Schreib-Lese-Speicher (RAM), einem programmierbaren Parallelschnittstellenbaustein (VIA) und einigen Hilfsschaltungen wie Taktgenerator, Leistungstreibern u.dgl.

An einen Ausgang des Mikrorechners 24 ist eine Anzeigeeinheit 25 angeschlossen, die zur Anzeige des Zustands des Signals 18, zur Ausgabe der ermittelten Zahl der in den Lichtstrahl eingreifenden Schneidkanten 2 und zur Signalisierung von Systemzuständen (Bereit- und Fehlermeldung) dient.

Die Messung des Rundlauffehlers der Schneidkanten 2 des Fräswerkzeugs 1 geschieht wie folgt. Durch Verfahren des Maschinenschlittens 4 werden das zu vermessende, mit seiner Betriebsdrehfrequenz angetriebene Fräswerkzeug 1 und die optische Abtasteinrichtung 7 so zu einander positioniert, daß der von der Lichtquelle 8 emittierte Lichtstrahl den Fotodetektor 13 erreicht und nicht von einer Schneidkante 2 des Fräswerkzeugs 1 unterbrochen wird. Dies wird von der nachgeschalte-

ten Auswerteeinheit 16 erkannt und zur Anzeige gebracht.

Mittels der Vorschubeinrichtung für den Maschinenschlitten 4 werden das Fräswerkzeug 1 und die optische Abtasteinrichtung 7 so lange aufeinander zu bewegt, bis mindestens eine Schneidkante 2 in den Lichtstrahl eindringt und diesen periodisch (aufgrund der Rotation des Fräswerkzeugs 1) unterbricht. Dies führt zu einer periodischen Änderung des Ausgangssignals 18 des Fotodetektors 13. In der angeschlossenen Verarbeitungseinrichtung 16 wird der Zählerstand des Impulszählers 22 synchron zur Drehfrequenz des Fräswerkzeugs 1 über das Halteregeister 23 in den Mikrorechner 24 übertragen. Der Mikrorechner 24 berechnet jeweils die Differenz zum vorherigen Zählerstand und damit die Zahl der Unterbrechungen des Lichtstrahls pro Umdrehung des Werkzeugs. Der ermittelte Wert wird auf der Anzeigeeinrichtung 25 angezeigt. Das Wegmeßsystem 6 liefert eine erste Position in der Stellung, in der der Strahlengang in der Meßebebene 12 während der Vorschubbewegung zum erstenmal von einer Schneidkante 2 unterbrochen wird.

Anschließend erfolgt eine weitere Vorschubbewegung, bis die angezeigte Zahl der Unterbrechungen des Lichtstrahls pro Umdrehung des Fräswerkzeugs gleich der Anzahl der Schneidkanten 2 des Fräswerkzeugs 1 ist. Diese zweite Position wird ebenfalls von dem Wegmeßsystem 6 erfaßt. Die Wegdifferenz dieser beiden Positionen des Wegmeßsystems 6 wird in der Abtasteinrichtung 16 berechnet; diese Wegdifferenz entspricht der Differenz zwischen dem größten und dem kleinsten Abstand der Schneidkanten 2 zu der Fräserachse 14 und stellt somit den Rundlauffehler des Fräswerkzeugs 1 dar.

Zur Messung des Flugkreisdurchmessers des Fräswerkzeugs 1 wird in der schon beschriebenen Weise im Wegmeßsystem 6 zunächst diejenige Position ermittelt, in der erstmalig eine Unterbrechung des Strahlengangs der optischen Abtasteinrichtung 7 durch eine Schneidkante 2 erfolgt. Anschließend wird der Maschinenschlitten 4 in der Vorschubrichtung 5 so lange verfahren, bis der Strahlengang der optischen Abtasteinrichtung 7 nicht mehr unterbrochen wird. Die Position des Wegmeßsystems 6 beim letztmaligen Auftreten des Strahlengangs wird erfaßt. In der Auswerteeinrichtung 16 wird die Wegdifferenz dieser beiden Positionen berechnet; sie entspricht dem Flugkreisdurchmesser des Fräswerkzeugs 1.

Die Ermittlung der Drehfrequenz des Fräswerkzeugs 1 durch den gesonderten Drehfrequenzgeber 15 kann entfallen, wenn die Drehfrequenz des Fräswerkzeugs 1 während der Messung durch die Steuerung der Werkzeugmaschine exakt erfaßt wird und/oder ein dem Signal 21 entsprechendes Signal an einer anderen Stelle der Steuerung verfügbar ist, das entsprechend verwendet werden kann.

Bei der Beschreibung des dargestellten Ausführungsbeispiels wurde davon ausgegangen, daß die optische Achse 10 der optischen Abtasteinrichtung 7, die Fräserdrehachse 3 und die sie verbindende Meßachse, in der die Vorschubbewegung 5 erfolgt, senkrecht aufeinander stehen. Abweichungen von dieser senkrechten Anordnung erzeugen zwar einen systematischen Meßfehler; dieser kann jedoch rechnerisch korrigiert werden, so daß auch solche Abweichungen zugelassen werden können. Wichtig ist jedoch, daß die optische Achse 10 der optischen Abtasteinrichtung 7 die durch die Fräserdrehachse 3 und die durch die Vorschubbewegung 5 be-

stimmte Stellachse aufgespannte Meßebebene 12 im Brennpunkt des Strahlengangs schneidet.

Patentansprüche

1. Verfahren zum berührungslosen Vermessen von Schneidkanten am Umfang eines sich drehenden Fräswerkzeugs, wobei die Schneidkanten jeweils in der die Fräswerkzeugachse enthaltenden Meßebebene durch den Strahlengang einer aus einer Lichtquelle und einem Fotodetektor bestehenden optischen Abtasteinrichtung erfaßt werden, deren optische Achse lotrecht zur Meßebebene und tangential zum Flugkreis der Schneidkanten verläuft, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein von der Lichtquelle (8) erzeugter kohärenter Lichtstrahl in der Meßebebene (12) fokussiert und die Lichtquelle (8) auf der aktiven Fläche des Fotodetektors (13) abgebildet wird, daß das Fräswerkzeug (1) und die optische Abtasteinrichtung (7) während des Meßvorgangs relativ zueinander verfahren werden, daß diese Relativbewegung durch ein Wegmeßsystem (6) erfaßt wird, und daß in einer Auswerteeinrichtung (10) die Position des Wegmeßsystems (6) bei einer Unterbrechung des Strahlengangs der optischen Abtasteinrichtung (7) erfaßt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Relativbewegung des Fräswerkzeugs (1) und der optischen Abtasteinrichtung (7) in der gemeinsamen Normalrichtung der Fräswerkzeugachse (14) und der optischen Achse (10) erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehfrequenz des Fräswerkzeugs (1) durch einen Drehfrequenzgeber (15) erfaßt und ein Drehfrequenzsignal an die Auswerteeinrichtung (16) übermittelt wird, und daß in der Auswerteeinrichtung (16) die Anzahl der Unterbrechungen des Strahlengangs der optischen Abtasteinrichtung pro Umdrehung des Fräswerkzeugs (1) ermittelt wird.
4. Verfahren nach Ansprüchen 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Annäherung der optischen Abtasteinrichtung (7) an das Fräswerkzeug (1) die Positionen des Wegmeßsystems (6) beim erstmaligen Auftreten einer Unterbrechung des Strahlengangs und zu dem Zeitpunkt erfaßt werden, wenn die Anzahl der Unterbrechungen pro Umdrehung des Fräswerkzeugs (1) gleich der Schneidenzahl des Fräswerkzeugs ist, und daß in der Auswerteeinrichtung (16) der Abstand dieser beiden Positionen als Maß für den Rundlauffehler des Fräswerkzeugs (1) ermittelt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Abtasteinrichtung (7) und das Fräswerkzeug (1) relativ zueinander über dessen Durchmesser verfahren werden, daß dabei die Positionen des Wegmeßsystems (6) beim erstmaligen und beim letztmaligen Auftreten einer Unterbrechung des Strahlengangs erfaßt werden, und daß in der Auswerteeinrichtung (16) der Abstand dieser beiden Positionen als Maß für den Flugkreisdurchmesser des Fräswerkzeugs (1) ermittelt wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

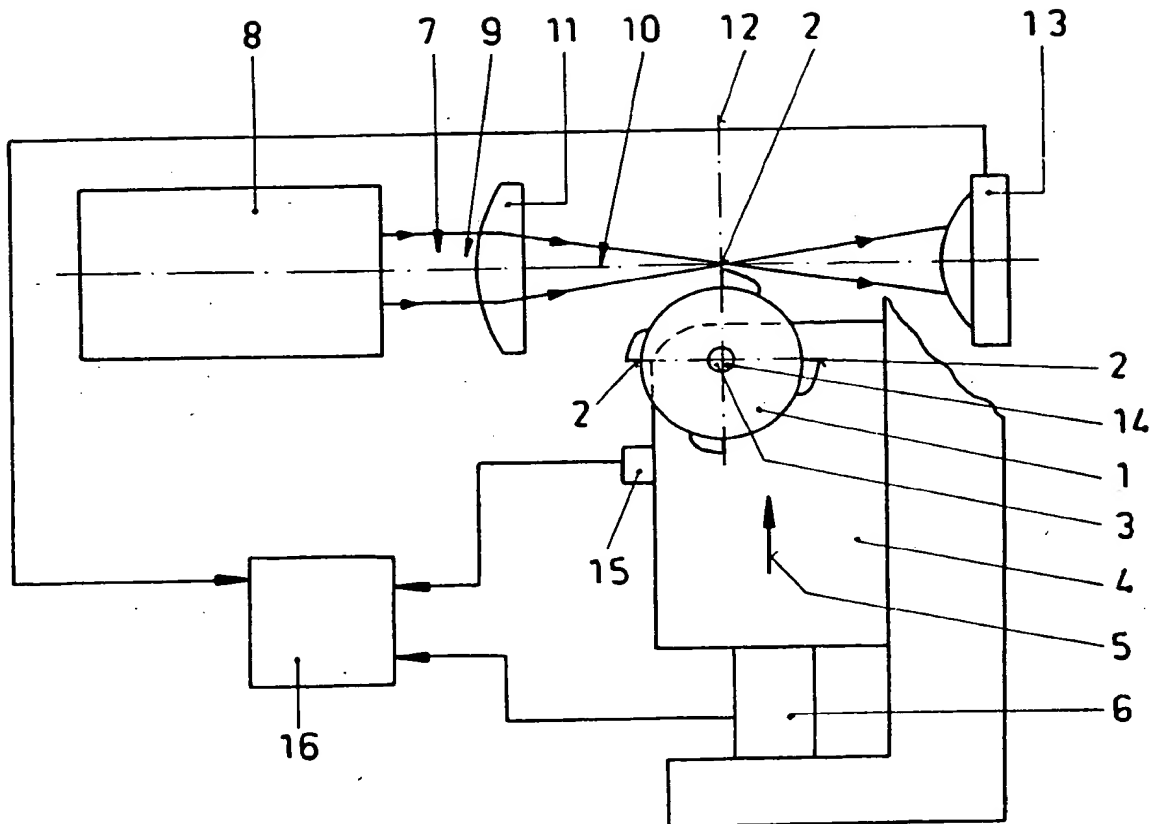


FIG.1

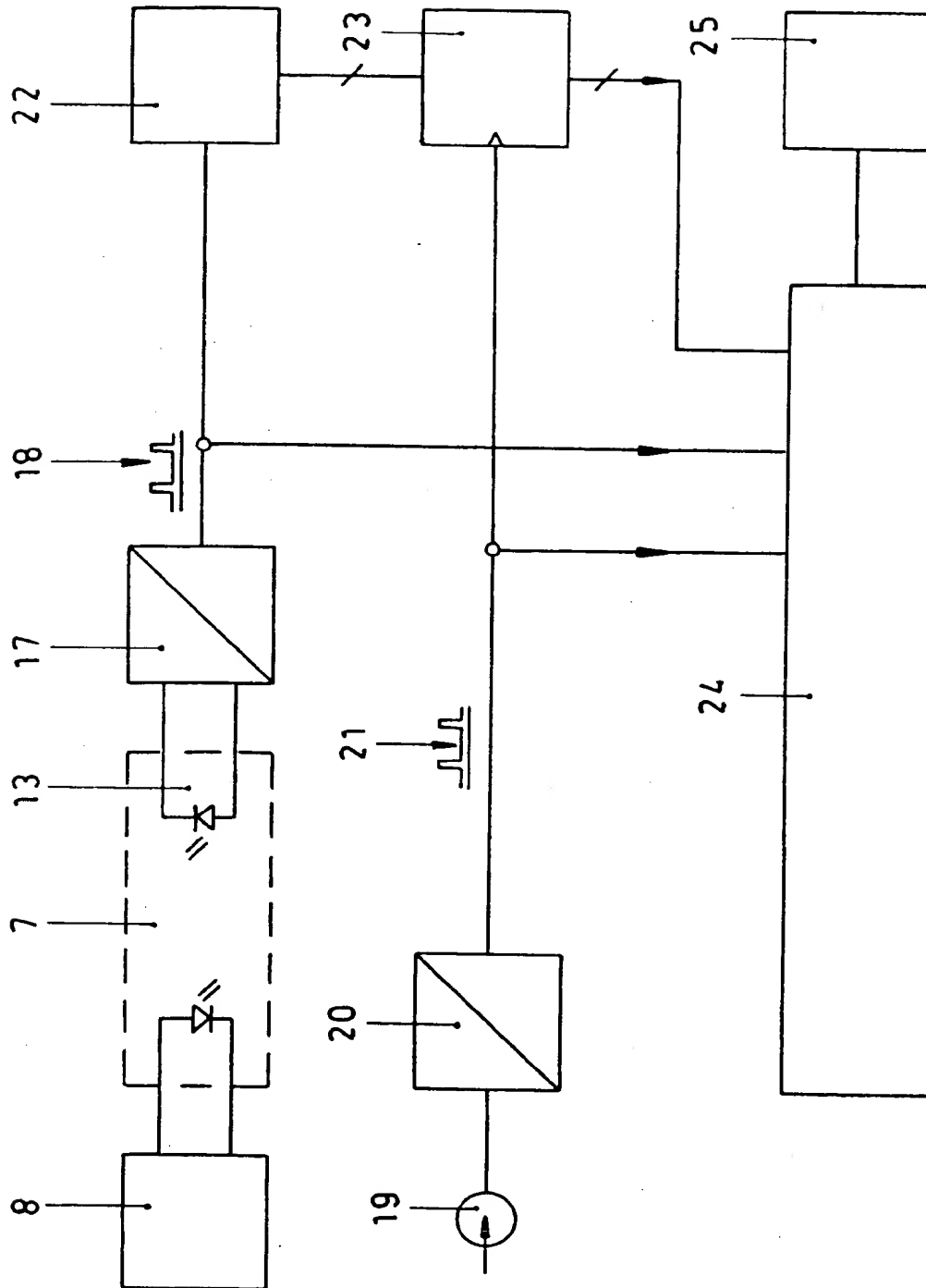


FIG. 2